

菠萝蜜籽黑凉粉的研制

勾玲¹, 陈玫伶¹, 宋君珍¹, 王敬涵², 杜密英², 刘荣汉², 戴瑞^{2*}

(1. 玉林师范学院生物与制药学院, 玉林 537000; 2. 桂林旅游学院休闲与健康学院, 桂林 541006)

摘要: **目的** 研制菠萝蜜籽(jackfruit seed, JFS)黑凉粉。**方法** 以感官评分、质构参数和析水率为指标, 考察凉草胶液(*Mesona chinensis* gum, MCG)、菠萝蜜籽淀粉(jackfruit seed starch, JFSS)、罗汉果提取液(mogrosides, M)的添加量对菠萝蜜籽黑凉粉品质的影响, 然后对比不同淀粉种类及存放时间对JFSS黑凉粉感官评分和质构参数的影响。以凉粉的感官评分为纵坐标, 各影响因素为横坐标进行线性拟合, 比较各因素与感官评分的相关性。**结果** 当MCG、JFSS和M分别为60%、2.5%、5.00%左右时, JFSS黑凉粉的感官评分和质构特性较好, JFSS黑凉粉与豌豆、马铃薯和玉米淀粉制作的凉粉的感官评分和质构参数较相似, 24 h内JFS黑凉粉的质构参数未发生明显的改变, 感官评分与胶粘性相关性最大。**结论** JFSS可以作为制作黑凉粉的淀粉原料, 此研究对制作具有JFSS风味的新型凉粉制品具有一定理论指导作用。

关键词: 菠萝蜜籽淀粉; 凉粉草; 凉粉; 质构

Preparation of jackfruit seed black Chinese jelly

GOU Ling¹, CHEN Mei-Ling¹, SONG Jun-Zhen¹, WANG Jing-Han², DU Mi-Ying²,
LIU Rong-Han², DAI Rui^{2*}

(1. College of Biology and Pharmacy, Yulin Normal University, Yulin 537000, China; 2. College of Leisure and Health, Guilin Tourism University, Guilin 541006, China)

ABSTRACT: Objective To prepare the jackfruit seed (JFS) black Chinese jelly. **Methods** Sensory score, texture parameters and syneresis rate were used as indexes to investigate the effects of *Mesona chinensis* gum (MCG), jackfruit seed starch (JFSS) and mogrosides (M) addition on the quality of black Chinese jelly of JFS, then the effects of different starch species and storage time on the sensory scores and texture characteristics of JFSS black Chinese jelly were compared. The correlation coefficient of Chinese jelly between different texture parameters and sensory scores were compared. **Results** The sensory score and texture characteristics of jelly were the best when MCG was added at 60%, JFSS was added at 2.5%, and M was about 5.00%, respectively, the sensory scores and texture characteristics were similar to the black Chinese jelly made of pea, potato and corn starch, the texture parameters of JFS black jelly were not significantly changed within 24 h, and the sensory score showed the greatest correlation with glueyness. **Conclusion** JFSS can be used as starch material for making black Chinese jelly, and this research can provide a theoretical guidance for making new JFSS high-quality jelly.

KEY WORDS: jackfruit seed starch; *Mesona chinensis* Benth; Chinese jelly; texture

基金项目: 广西中青年教师科研基础能力提升项目(2019KY0824、2018KY0682)

Fund: Supported by the 2018 Guangxi Colleges and Universities Young and Middle-aged Teachers Basic Ability Promotion Project (2019KY0824, 2018KY0682)

*通信作者: 戴瑞, 硕士, 讲师, 主要研究方向为大宗农产品加工。E-mail: 24389771@qq.com

*Corresponding author: DAI Rui, Master, Lecturer, College of Leisure and Health, Guilin Tourism University, No.26, Liangfeng Road, Yanshan District, Guilin 541006, China. E-mail: 24389771@qq.com

0 引言

菠萝蜜(*Artocarpus heterophyllus* Lam.)是桑科菠萝蜜,是集水果、粮食于一体的热带树种,我国是世界上种植和消费菠萝蜜的大国,资源丰富。菠萝蜜果实硕大,菠萝蜜籽(jackfruit seed, JFS)占整个果实重量的15%以上,富含淀粉、蛋白质、氨基酸等成分^[1-4],在菠萝蜜果肉加工过程中, JFS 常被当成副产物直接丢弃,不但浪费了优质的淀粉资源,还会造成一定环境污染^[5-6]。因此开展副产物菠萝蜜籽淀粉(jackfruit seed starch, JFSS)的综合利用研究意义重大^[7]。目前国内外学者对 JFSS 的研究主要集中在其淀粉的性能研究方面^[8-11],仅有少量应用研究,比如饼干粉^[12]、食用色素发酵底物^[13]、油脂替代品^[14]等。

直链淀粉的抗消化性强,可作为低脂肪、低热量等保健食品的添加物。研究表明, JFSS 中直链淀粉含量高,在肠道中消化和吸收非常缓慢,血糖应答值低^[15],协同丰富的膳食纤维,使 JFSS 具有一定的促进肠道健康和瘦身的作用。课题组前期研究发现 JFSS 与凉草胶液(*Mesona chinensis* gum, MCG)复配能够形成优良的凝胶制品,淀粉凝胶制品在中国人的日常生活中扮演着非常重要的角色^[16],而低糖、低热量的淀粉凝胶制品更容易受到广大追求健康的消费者的追捧,相应的功能性原料的市场需求量巨大。目前未见 JFSS 在这方面应用的研究报道,因此本研究以高抗性淀粉含量的 JFSS 替代常规淀粉、以药食两用的天然甜味剂罗汉果提取液(mogrosides, M)代替高热量的蔗糖,以天然凝胶剂 MCG 为凝胶剂,通过单因素实验探求 3 个主要原料的添加量对凉粉品质的影响,研制出一种低血糖应答值的健康功能性 JFSS 黑凉粉,将其与市面上常见淀粉制作的凉粉做比较,并研究 JFSS 黑凉粉成品在储存中的质构特性,为开发新的功能型黑凉粉提供一定的理论基础,拓宽 JFSS 的应用范围,减少资源的浪费。

1 材料与方 法

1.1 材 料

干凉粉草(*Mesona chinensis* Benth): 福建武夷山; 菠萝蜜籽: 广东湛江; 罗汉果: 桂林永福。

1.2 仪 器

TMS-Pro 质构仪(美国 FTC 公司); AR224CN 电子天平(常州奥豪斯仪器有限公司); BCD-636WD11HPA 冰箱(佛山海信科龙电器股份有限公司); DHG-9140A 电热鼓风干燥箱(上海一恒科学仪器有限公司); C21-WT2118 多功能电磁炉(佛山美的生活电器制造有限公司); JYL-Y912 高速破壁调理机(济南九阳股份有限公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 JFS 黑凉粉的制备工艺流程

JFS 黑凉粉的工艺流程如下: MCG+M+JFSS→混合调

配→糊化→灌注→冷却→检测。

JFSS 的制备: 取新鲜 JFS, -20 °C 冰箱冷冻 24 h, 取出, 按 1:5 (*m*:*V*)比例加入冰水, 置高速破壁机中匀浆 3 次, 每次 2 min, 过滤, 滤渣重复匀浆, 合并所有滤液, 置 4 °C 冰箱中静置, 倾去上层液体, 重复操作, 直至沉淀呈乳白色为止, 沉淀用纱布吊干, 再 55 °C 烘干过筛既得 JFSS。

MCG 的制备: 称取干凉粉草加水(料液比 1:25, *m*:*V*)和 0.2% (*m*:*V*)的食用碱, 大火煮开, 小火保持微沸 1 h, 冷却后补足损失水分, 滤布过滤, 混合均匀, 放置于 4 °C 冰箱备用。

糊化: 由于 JFSS 的糊化温度比较高, 将调配好的混合溶液置于不粘锅中, 电磁炉加热(分段加热: 1~7 min 电磁炉功率 1800 W, 7~15 min, 电磁炉功率 800 W), 往同一方向使用相同的力度不断搅拌, 使糊化均匀。

配方的初步确定: MCG 富含酸性杂多糖, 凝胶性能较好, 在本研究中作为凝胶剂和生物活性成分^[17], 配方中添加食用碱可提高多糖提取率, 同时对混合体系凝胶的形成也具有促进作用^[18]。根据预实验及文献方法^[19-21]确定初步配方: 用料配比为 MCG 和 JFSS、M 混合液各占 50%, 混合液最终原料配比(*m*:*V*)为: 3% JFSS、2% MCG 和 5% M。

1.3.2 单因素实验

以感官评分和质构参数为指标, 考察 MCG、JFSS、M 添加量对 JFS 黑凉粉品质的影响。MCG 添加量为 30%、40%、50%、60%、70%; JFSS 添加量为 2.0%、2.5%、3.0%、3.5%、4.0%; M 添加量为 1.25%、2.50%、5.00%、7.50%、10.00%。

1.3.3 对比实验

以感官评分和质构参数为指标, 考察红薯淀粉、豌豆淀粉、JFSS、马铃薯淀粉、玉米淀粉及存放 3、24、48 h 对 JFS 黑凉粉品质的影响。

1.3.4 感官评定

随机选择取 20 名玉林师范学院符合基本品鉴要求的志愿品鉴者组成评价组小组, 男女各 10 人, 按表 1 规定的评分标准对产品的 5 项指标进行综合评分^[19], 取平均值为最终结果。

表 1 凉粉感官评分标准

Table 1 Sensory evaluation standards of Chinese jelly

项目	特征描述	分数/分
色泽(15分)	切面光泽度好, 黑褐色	11~15
	切面光泽度好, 棕褐色	6~10
质地(15分)	切面光泽度差, 颜色浅且不均一	0~5
	整体成型性好, 表面平滑无气泡, 弹性适中, 轻微析水	11~15
	整体成型性一般, 表面有少量气泡, 弹性一般, 析水率较低	6~10
	过硬或者近糊状, 表面凹凸不平, 弹性偏大或偏小, 析水率高	0~5

表 1(续)

项目	特征描述	分数/分
口感(40分)	无颗粒感, 柔软爽滑, 弹性适中	31~40
	无颗粒感, 柔软爽滑, 弹性一般	11~30
	有颗粒感, 弹性差	0~10
风味(15分)	香味浓郁, 有独特的凉草、JFSS 风味	11~15
	口味清新, 有淡淡的凉草、JFSS 风味	6~10
	寡淡无味	0~5
甜度(15分)	甜度适宜	11~15
	过甜	6~10
	不够甜	0~5

1.3.5 质构特性及析水率测定

将各组凉粉随机选取 3 盒样品, 编号称重, 置 4 °C 冰箱中, 分别于 24、48 h 取出称重, 计算样品析水率。将样品置于冰箱中冷却 1 h 取出, 平衡至室温, 对各组的其余样品进行质构测试, 条件如下: TPA 模式, P/50 的探头, 压缩形变量 20%, 测前速度和测后速度 120 mm/min, 测试速度减半。记录各组凉粉样品的硬度、粘附性、弹性等质构参数^[19]。

1.3.6 凉粉感官评分与质构参数相关性分析

以凉粉的感官评分为纵坐标, 各影响因素为横坐标进行线性拟合, 比较各因素的相关性。

1.3.7 数据分析

采用 SPSS 22.0 统计分析软件、Graphpad prism 8 作图分析软件对数据进行方差、显著性和相关性分析。

2 结果与分析

2.1 单因素结果分析

2.1.1 MCG 添加量对 JFS 黑凉粉品质的影响

MCG 具有良好的成胶性能, 可与淀粉相互作用, 使淀粉基食品在糊化和老化后获得较好的凝胶质地^[22]。MCG 在凝胶形成中具有浓度依赖性, 随着胶液浓度的增大, 胶液中多糖对淀粉组分间缠结重排的促进作用增强, 促使其凝胶黏弹性、硬度、胶黏性和咀嚼度升高^[20]。本研究可

以看出, 随着 MCG 添加量从 30% 增加到 50%, 凉粉的感官评分显著上升, 之后 MCG 添加量再增加, 感官评分上升不显著。除粘附性、内聚性外, 凉粉的颜色逐渐加深, 硬度、弹性、胶黏性和咀嚼性都随着 MCG 添加量的增加而显著增强(表 2 和图 1)。添加量小于 40% 则成品的颜色过浅, 成形较差, 且硬度、胶黏性等质构参数也较低, 影响口感, 添加量大于 60% 则硬度、胶黏性和咀嚼性较高, 特别是咀嚼性激增, 不符合凉粉顺滑柔软的品质要求。48 h 内凉粉成品的析水率都呈现先升高后逐渐降低的趋势, 添加量为 70% 时可显著降低析水率。综上所述, MCG 的添加量 60% 为宜。

2.1.2 JFSS 添加量对 JFS 黑凉粉品质的影响

凉粉草多糖具有凝胶性, 但其本身并不能单独形成固态状胶体, 淀粉的添加量对凝胶的形成有较大影响^[20], 淀粉凝胶的形成过程主要受到直链淀粉的重排的影响, 直链淀粉含量越高, 凝胶强度越大^[23], JFS 中直链淀粉含量高达 25%, 高于常用玉米、马铃薯淀粉等^[14]。随着 JFSS 添加量的增加, 凉粉颜色由深黑色逐渐变成黄棕色, 感官评分在 JFSS 添加量大于 2.5% 后, 显著下降。当 JFSS 的添加量由 2.0% 增加到 3.5% 时, 凉粉的粘附性、内聚性、弹性变化不明显, 而硬度、胶黏性和咀嚼性随着 JFSS 的添加量增大而持续增加(表 3 和图 1), 这与刘素臣^[20]的研究结果相符。但当 JFSS 添加量持续增加达到 4.0% 时, 除粘附性外, 其余质构指标均显著下降, 这可能是体系中促进直链淀粉相互作用的胶液不足造成的。研究表明, 与其他淀粉相比, 在制作凉粉的过程中, JFSS 的添加量低于常用淀粉^[19-20], 且 JFSS 抗酶解能力强, 具有较低的消化性^[15], 适宜加工慢血糖响应的健康产品。

JFSS 添加量对凉粉存储过程中析水率有影响, 淀粉量添加过高或者过低, 都会增加析水率, 添加量为 3.0% 时析水率最低, 这可能是淀粉量过低时, 样品中淀粉浓度低, 糊化时水分未被淀粉充分吸收膨胀, 形成凝胶弱, 在贮存期间容易析出水分, 而当淀粉浓度过高时, 胶液中多糖与淀粉组分间缠结重排的作用不充分, 使淀粉成分未被充分包裹而裸露在外, 致使凝胶强度下降(表 3)。综上所述, JFSS 的添加量在 2.5% 左右最为合适。

表 2 MCG 添加量对黑凉粉品质的影响
Table 2 Effects of MCG addition on quality of black Chinese jelly

MCG 添加量/%	感官评分/分	硬度/N	粘附性/mJ	内聚性/Ritio	弹性/mm	胶黏性/N	咀嚼性/mj	24 h 析水率/%	48 h 析水率/%
30	52.16±1.69 ^c	0.58±0.04 ^c	-0.01±0.00 ^a	0.67±0.02 ^d	1.96±0.04 ^c	0.39±0.03 ^c	0.77±0.07 ^c	12.66±0.97 ^b	29.69±1.78 ^a
40	63.09±2.27 ^b	0.93±0.02 ^d	-0.06±0.01 ^b	0.73±0.02 ^c	2.58±0.07 ^d	0.68±0.02 ^d	1.75±0.06 ^d	13.72±0.02 ^a	31.96±0.62 ^a
50	71.69±2.73 ^a	1.24±0.05 ^c	-0.10±0.03 ^c	0.78±0.03 ^b	2.85±0.15 ^c	0.97±0.08 ^c	2.77±0.37 ^c	12.86±0.38 ^{ab}	29.61±1.08 ^a
60	78.10±1.33 ^a	1.53±0.05 ^b	-0.13±0.03 ^c	0.80±0.03 ^{ab}	3.09±0.19 ^b	1.23±0.06 ^b	3.81±0.39 ^b	12.33±0.20 ^b	27.80±0.60 ^b
70	73.80±2.40 ^a	2.05±0.07 ^a	-0.16±0.02 ^d	0.82±0.01 ^a	3.40±0.16 ^a	1.68±0.07 ^a	5.70±0.51 ^a	10.55±0.06 ^c	24.76±0.34 ^c

注: 同一列中不同的字母表示存在显著性差异($P < 0.05$), 下同。



注: 纵向 A-D 代表 MCG、JFSS、M 添加量和淀粉种类单因素实验, 横向 1-5 代表各单因素实验的 1-5 个水平。

图 1 不同 MCG、JFSS、M 添加量和淀粉种类对凉粉外观形貌的影响
Fig.1 Effects of different MCG, JFSS, M addition and starches type on the appearance of Chinese jelly

2.1.3 M 添加量对 JFS 黑凉粉品质的影响

凉粉制作过程中, 添加糖主要是用于调味, 蔗糖、白砂糖等糖液还可以增加体系的黏度, 有利于凝胶的形成, M 属于天然甜味剂, 其不但甜度高、用量少、热量低, 还可以减少可吸收糖分的摄入量, 符合现代少糖、低热量的健康需求^[24-26]。由表 4 和图 1 所示, 凉粉除粘附性外的其余质构参数和感官评分均随 M 的添加而呈现中间高两边低的趋势, 说明 M 的添加量不仅影响感官评分, 对质构参数也有一定的影响, 适宜的添加量能获得较高的感官评分和较优的质构参数。由表 4 可以看出, 24 h 内 M 添加量不会影响凉粉的析水率, 48 h 后当添加量低于 7.50% 时, 析水率组间无差异, 继续添加 M 则可降低凉粉的析水率, 可能糖液浓度较高时, 增加了体系整体的粘稠度, 可防止水分析出。综上所述, M 的添加量为 5.00% 左右最合适。

表 3 JFSS 添加量对黑凉粉品质的影响
Table 3 Effects of JFSS addition on quality of black Chinese jelly

JFSS 添加量/%	感官评分/分	硬度/N	粘附性/mJ	内聚性/Ritio	弹性/mm	胶粘性/N	咀嚼性/mj	第 1~24 h 析水率/%	48 h 累计析水率/%
2.0	75.75±2.98 ^a	1.09±0.02 ^c	-0.10±0.02 ^b	0.76±0.02 ^a	2.86±0.14 ^a	0.83±0.04 ^c	2.37±0.22 ^c	14.85±0.51 ^a	33.65±1.64 ^a
2.5	78.77±1.94 ^a	1.22±0.04 ^b	-0.11±0.02 ^b	0.75±0.03 ^a	2.85±0.14 ^a	0.92±0.03 ^b	2.61±0.21 ^{bc}	14.07±0.15 ^b	31.32±0.08 ^b
3.0	71.69±2.73 ^b	1.24±0.05 ^b	-0.10±0.03 ^b	0.78±0.03 ^a	2.85±0.15 ^a	0.97±0.08 ^b	2.77±0.37 ^{ab}	12.86±0.38 ^c	29.61±1.08 ^c
3.5	55.41±1.69 ^c	1.35±0.07 ^a	-0.13±0.01 ^b	0.78±0.01 ^a	2.88±0.13 ^a	1.05±0.04 ^a	3.03±0.26 ^a	14.64±0.09 ^a	32.86±0.35 ^{ab}
4.0	53.70±3.75 ^c	0.96±0.06 ^d	-0.07±0.01 ^a	0.70±0.01 ^b	2.06±0.10 ^b	0.67±0.04 ^d	1.74±0.16 ^d	13.89±0.06 ^b	31.85±0.23 ^b

表 4 M 添加量对黑凉粉品质的影响
Table 4 Effects of M addition on quality of black Chinese jelly

M 添加量/%	感官评分/分	硬度/N	粘附性/mJ	内聚性/Ritio	弹性/mm	胶粘性/N	咀嚼性/mj	24 h 析水率/%	48 h 析水率/%
1.25	53.57±1.44 ^c	0.85±0.03 ^c	-0.06±0.01 ^a	0.65±0.01 ^c	2.49±0.04 ^c	0.55±0.02 ^e	1.38±0.08 ^e	13.19±0.32 ^a	29.78±0.92 ^a
2.50	60.15±2.80 ^b	0.86±0.04 ^c	-0.07±0.01 ^a	0.66±0.01 ^c	2.55±0.05 ^c	0.57±0.03 ^e	1.45±0.11 ^e	13.08±0.63 ^a	29.57±1.62 ^a
5.00	71.69±2.73 ^a	1.24±0.05 ^a	-0.10±0.03 ^b	0.78±0.03 ^a	2.85±0.15 ^a	0.97±0.08 ^b	2.77±0.37 ^a	12.86±0.38 ^a	29.61±1.08 ^a
7.50	62.64±2.16 ^b	1.09±0.03 ^b	-0.10±0.01 ^b	0.71±0.02 ^b	2.57±0.09 ^c	0.77±0.04 ^b	1.99±0.16 ^b	11.61±0.89 ^a	25.54±1.70 ^b
10.00	56.02±2.35 ^c	1.10±0.03 ^b	-0.09±0.00 ^b	0.71±0.01 ^b	2.69±0.04 ^b	0.78±0.01 ^b	2.10±0.06 ^b	11.98±0.39 ^a	26.65±0.25 ^b

2.1.4 不同淀粉对黑凉粉品质的影响

淀粉和 MCG 共同决定了黑凉粉的感官和质构性质, MCG 与不同种类淀粉相互作用形成的凝胶特性不同, 其感官评分依次为: 马铃薯淀粉>豌豆淀粉>玉米淀粉>木薯淀粉^[20], 同属于块茎类的红薯淀粉^[19]、小麦淀粉^[27]也常应用在黑凉粉的制作中。由表 5 和图 1 可知, 相同条件下, 除红薯淀粉外, 添加不同淀粉的凉粉感官评分差异不明显, 其中豌豆淀粉、JFSS、马铃薯和玉米淀粉感官评分较相似, 豌豆淀粉和 JFSS 的质构参数最接近, 这可能与不同淀粉

的最佳添加量不同, 造成在同一添加量下, 不同淀粉与 MCG 形成的凝胶质构有差异。由表 5 可以看出, 不同淀粉制作的凉粉成品在 24 h 内, 析水率无差异, 48 h 后, 豌豆淀粉制作的凉粉析水率最高, JFSS 明显低于豌豆淀粉, 但仍高于其他 3 种淀粉, 因此豌豆淀粉、JFSS 制作黑凉粉不宜长时间存放。

2.1.5 存放时间对 JFS 黑凉粉品质的影响

淀粉基凝胶制品在储存过程中不稳定, 其品质会发生一定的改变, 考察成品的稳定性具有重要意义。黑凉粉

可以单独食用,在炎热的夏季,也常被用作奶茶店烧仙草、龟苓膏系列饮品的配料,由于其制作的特殊性,一般需要提前煮制并存放在冰箱中备用,因此要保证在一定时间内其质构性质的稳定。由表 6 可以看出,24 h 内 JFS 黑凉粉的质构特性未发生明显的改变,随着存放时间的延长到 48 h, JFS 黑凉粉的硬度、胶粘性 and 咀嚼性逐渐升高,粘附性降低,而内聚性、弹性变化不显著。如要获得更长的存放时间,添加一定量的品质改良剂^[28]、或者调整优化原料配比^[29]都有望改善其存放时间。

2.2 相关性分析

凉粉的感官评分与质构参数的相关性分析结果显示:除粘附性外,感官评分与其余质构参数呈正相关,所有指标均与感官评分呈极显著相关,且各指标之间也呈极显著相关,其中相关性系数最高的是感官评分与胶粘性(表 7)。因此,凉粉的品质可用胶粘性来客观评价^[30]。

3 结论与讨论

本研究以 JFSS、M、MCG 为主要原料,进行单因素实验和相关性分析,比较了不同存放时间和不同淀粉制作的黑凉粉的感官评分和质构参数。结果表明,当 MCG、JFSS 和 M 分别为 60%、2.5%、5.00% 左右时, JFSS 黑凉粉的感官评分和质构特性较好, JFSS 制作的黑凉粉的感官评分与质构特性中的胶粘性有较强的相关性,与豌豆、马铃薯和玉米淀粉制作的粉黑凉粉的感官评分差异不显著,和豌豆淀粉制作的黑凉粉质构参数相似性最高。24 h 内 JFSS 黑凉粉的质构特性未发生明显的改变,48 h 内内聚性、弹性稳定,粘附性降低,而硬度、胶粘性和咀嚼性显著升高。JFSS 可以作为制作黑凉粉的淀粉原料,减少资源浪费,本研究对制作具有 JFSS 风味的新功能型健康凉粉具有一定理论指导作用。

表 5 不同淀粉对黑凉粉品质的影响

Table 5 Effects of difference starches added on quality of black Chinese jelly

淀粉种类	感官评分/分	硬度/N	粘附性/mJ	内聚性/Ritio	弹性/mm	胶粘性/N	咀嚼性/mj	24 h 析水率/%	48 h 析水率/%
红薯淀粉	60.50±2.66 ^b	0.76±0.02 ^d	-0.02±0.00 ^a	0.71±0.01 ^b	2.07±0.06 ^d	0.54±0.01 ^d	1.60±0.05 ^c	13.19±0.32 ^a	24.49±0.23 ^c
豌豆淀粉	73.92±3.32 ^a	1.17±0.06 ^b	-0.08±0.00 ^c	0.71±0.01 ^b	2.72±0.10 ^{ab}	0.83±0.06 ^b	2.27±0.23 ^b	13.08±0.63 ^a	35.52±0.75 ^a
JFSS	71.69±2.73 ^a	1.24±0.05 ^a	-0.10±0.03 ^d	0.78±0.03 ^a	2.85±0.15 ^a	0.97±0.08 ^a	2.77±0.37 ^a	12.86±0.38 ^a	29.61±1.08 ^b
马铃薯淀粉	68.64±1.49 ^a	0.79±0.02 ^d	-0.03±0.01 ^a	0.71±0.02 ^b	2.18±0.11 ^d	0.57±0.02 ^d	1.72±0.12 ^c	11.61±0.89 ^a	22.39±1.53 ^c
玉米淀粉	71.05±3.52 ^a	0.94±0.03 ^c	-0.06±0.00 ^b	0.69±0.03 ^b	2.54±0.06 ^c	0.65±0.03 ^c	1.67±0.11 ^c	11.98±0.39 ^a	18.75±0.45 ^d

表 6 存放时间对黑凉粉品质的影响

Table 6 Effects of different storage times on quality of black Chinese jelly

放置时间/h	硬度/N	粘附性/mJ	内聚性/Ritio	弹性/mm	胶粘性/N	咀嚼性/mj
3	1.24±0.05 ^b	-0.10±0.03 ^a	0.78±0.03 ^a	2.85±0.15 ^a	0.97±0.08 ^b	2.77±0.37 ^b
24	1.34±0.15 ^b	-0.11±0.01 ^a	0.78±0.03 ^a	2.91±0.11 ^a	1.01±0.05 ^b	2.87±0.12 ^b
48	2.19±0.17 ^a	-0.22±0.02 ^b	0.74±0.04 ^a	2.99±0.09 ^a	1.59±0.14 ^a	5.08±0.15 ^a

表 7 凉粉的不同质构参数与感官评分的相关性系数

Table 7 Correlation coefficients of Chinese jelly between different texture parameters and sensory score

	感官评分	硬度	粘附性	内聚性	弹性	胶粘性	咀嚼性
评分	1	0.830**	-0.719**	0.792**	0.833**	0.841**	0.829**
硬度	0.830**	1	-0.929**	0.834**	0.903**	0.995**	0.983**
粘附性	-0.719**	-0.929**	1	-0.777**	-0.923**	-0.912**	-0.867**
内聚性	0.792**	0.834**	-0.777**	1	0.780**	0.878**	0.862**
弹性	0.833**	0.903**	-0.923**	0.780**	1	0.895**	0.860**
胶粘性	0.841**	0.995**	-0.912**	0.878**	0.895**	1	0.992**
咀嚼性	0.829**	0.983**	-0.867**	0.862**	0.860**	0.992**	1

注:**表示存在极显著性相关($P<0.01$)。

参考文献

- [1] 袁海华, 钟慧杰, 敖新宇. 菠萝蜜种子的营养成分测定及分析[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(24): 169-173.
YUAN HH, ZHONG HJ, AO XY. Determination and analysis of nutritional components in *Artocarpus heterophyllus* seed [J]. Food Res Dev, 2018, 39(24): 169-173.
- [2] 师江, 曹海燕, 郭芬. 菠萝蜜籽营养成分分析与安全性评价[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(14): 193-196.
SHI J, CAO HY, GUO F. Nutrition analysis and security assessment of jackfruit seeds [J]. Food Res Dev, 2018, 39(14): 193-196.
- [3] UMESH BJ, VISHWAS AB. Green synthesis of silver nanoparticles using *Artocarpus heterophyllus* Lam. seed extract and its antibacterial activity [J]. Ind Crop Prod, 2013, 132-137, 46.
- [4] SHRIKANTA A, KUMAR A, GOVINDASWAMY V. Resveratrol content and antioxidant properties of underutilized fruits [J]. J Food Sci Technol, 2015, 52(1): 383-390.
- [5] 方桂红, 詹达谋. 我国菠萝蜜的研究现状[J]. 粮食与油脂, 2018, 31(4): 1-3.
FANG GH, ZHAN DM. The research status of jackfruit in China [J]. J Cere Oils, 2018, 31(4): 1-3.
- [6] 尹道娟, 张国治, 薛慧, 等. 菠萝蜜种子主要化学成分和加工性能研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2014, 35(1): 87-91.
YIN DJ, ZHANG GZ, XUE H, et al. Study on main chemical components in artocarpus heterophyllus seeds and processing properties [J]. J Henan Univ Technol (Nat Sci Ed), 2014, 35(1): 87-91.
- [7] 吕飞杰, 台建祥, 尹道娟, 等. 菠萝蜜副产品综合利用研发[J]. 中国热带农业, 2015, 1(62): 9-12.
LV FJ, TAI JX, YIN DJ, et al. Research and development of comprehensive utilization of jackfruit by-products [J]. China Trop Agric, 2015, 1(62): 9-12.
- [8] 左慧玉, 徐飞, 张彦军, 等. 双螺杆挤压对菠萝蜜种子淀粉消化特性及血糖指数的影响[J]. 食品工业科技, 2020, 41(11): 305-309, 78.
ZUO HY, XU F, ZHANG YJ, et al. Effect of twin screw extrusion on digestibility and glycemic index of jackfruit seed starch [J]. Sci Technol Food Ind, 2020, 41(11): 305-309, 78.
- [9] 陈福泉, 张本山, 卢海凤. 菠萝蜜种子淀粉消化特性与糊性质的研究[J]. 食品与发酵工业, 2009, 35(4): 43-46.
CHEN FQ, ZHANG BS, LU HF. Jackfruit seeds starch digestibility and its dextrin properties [J]. Food Ferment Ind, 2009, 35(4): 43-46.
- [10] 方桂红, 陶宇, 邓小宝, 等. 酶法制备菠萝蜜籽抗性淀粉的工艺优化及特性研究[J]. 粮食与油脂, 2019, 32(4): 23-27.
FANG GH, TAO Y, DENG XB, et al. Study on the process optimization and characteristics of jackfruit seed resistant starch prepared by enzymatic method [J]. J Cere Oils, 2019, 32(4): 23-27.
- [11] PHISUT N, WARUNYA T, SRISUNANTHA C. Properties of jackfruit seed starch oxidized with different levels of sodium hypochlorite [J]. Int J Food Prop, 2017, 20(5): 976-996.
- [12] 徐向波, 陈念, 周航, 等. 菠萝蜜种子粉酥性饼干的研制[J]. 美食研究, 2019, 36(1): 54-57.
XU XB, CHEN N, ZHOU H, et al. Development of jackfruit seed powder biscuits [J]. J Res Diet Sci Res, 2019, 36(1): 54-57.
- [13] YANTI H, KUSNAD I, LIA AY. Effect of monascus purpureus inoculum concentration on pigment production in jackfruit seed flour substrate [C]. American Institute of Physics, 2015.
- [14] FERNANDA PS, LAIS MZ, GABRIEL BCR, et al. Optimization of postharvest conditions to produce chocolate aroma from jackfruit seeds [J]. J Agric Food Chem, 2017, 65(6): 1196-1208.
- [15] 李博, 王雪飞, 徐飞, 等. 菠萝蜜种子淀粉体外消化酶解动力学及血糖值分析[J]. 热带作物学报, 2018, 39(4): 774-779.
LI B, WANG XF, XU F, et al. Enzymatic hydrolysis kinetics of jackfruit seeds starch [J]. Chin J Trop Crop, 2018, 39(4): 774-779.
- [16] 孙川惠, 武强, 张炳文. 淀粉凝胶食品—粉皮、凉粉的研究进展[J]. 中国食物与营养, 2016, 22(1): 40-43.
SUN CH, WU Q, ZHANG BW. Research progress of starch gel foods—sheet jelly and jelly [J]. Food Nutr China, 2016, 22(1): 40-43.
- [17] 林丽华, 黄莉鑫, 谢建华. 凉粉草功能活性成分及其生物活性研究进展[J]. 食品工业科技, 2016, 37(20): 356-359.
LIN LH, HUANG LX, XIE JH. Review on main chemical constituents and biological activities of *Mesona chinensis* [J]. Sci Technol Food Ind, 2016, 37(20): 356-359.
- [18] LIU SC, XIAO YH, SHEN MY, et al. Effect of sodium carbonate on the gelation, rheology, texture and structural properties of maize starch-*Mesona chinensis* polysaccharide gel [J]. Food Hydrocolloid, 2019, 87: 943-951.
- [19] 黄锦琪, 江联, 温笑, 等. 红薯黑凉粉的配方优化[J]. 食品工业科技, 2021, 42(3): 133-139.
HUANG JQ, JIANG L, WEN X, et al. Optimization of formula of sweet potato black Chinese jelly [J]. Sci Technol Food Ind, 2021, 42(3): 133-139.
- [20] 刘素臣. 基于凉粉草多糖-不同类型淀粉相互作用形成的凝胶特性及新型黑凉粉制品研发[D]. 南昌: 南昌大学, 2019.
LIU SC. Properties of mixed gels based on the interaction between *Mesona chinensis* polysaccharide and different types starch systems and the development of new *Mesona chinensis* jelly [D]. Nanchang: Nanchang University, 2019.
- [21] 王永志, 赖富饶, 吴晖. 凉粉草胶与卡拉胶复配制作凉粉的质构特性研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(7): 224-227.
WANG YZ, LAI FR, WU H. Study on textural characteristics of jelly formulated with k-carrageenan-MBG compound gel [J]. Sci Technol Food Ind, 2012, 33(7): 224-227.
- [22] LIN LH, SHEN MY, LIU SC, et al. An acidic heteropolysaccharide from *Mesona chinensis*: Rheological properties, gelling behavior and texture characteristics [J]. Int J Biol Macromol, 2018, 107: 1591-1598.
- [23] KUMER L, BRENNAN M, ZHENG H, et al. The effects of dairy ingredients on the pasting, textural, rheological, freeze-thaw properties and swelling behaviour of oat starch [J]. Food Chem, 2018, 245: 518-524.
- [24] 李雨蒙, 张泽生, 秦程广, 等. 罗汉果甜苷的提取及活性研究进展[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(8): 220-224.
LI YM, ZHANG ZS, QIN CG, et al. Research progress of extraction and active of mogroside [J]. Food Res Dev, 2017, 38(8): 220-224.
- [25] PEI ZJ, LOU ZX, ZHANG BJ, et al. Development of a compound oral liquid containing herbal extracts and its effect on immunity and gastric mucosa [J]. J Food Sci, 2021, 86(6): 2684-2699.

- [26] BHUSARI S, RODRIGUEZ C, TARKA SM, *et al.* Comparative *in vitro* metabolism of purified mogrosides derived from monk fruit extracts [J]. *Regul Toxicol Pharm*, 2021, 120(3): 104856.
- [27] LIU SC, LIN LH, SHEN MY, *et al.* Effect of *Mesona chinensis* polysaccharide on the pasting, thermal and rheological properties of wheat starch [J]. *Int J Biol Macromol*, 2018, 118: 945–951.
- [28] 王玲, 蓝绪悦, 徐文, 等. 品质改良剂延缓即食豌豆凉粉老化研究[J]. *食品科技*, 2021, 46(8): 227–232.
WANG L, LAN XY, XU W, *et al.* Anti-retrogradation of instant pea jelly by quality improvers [J]. *Food Sci Technol*, 2021, 46(8): 227–232.
- [29] LIU B, ZHU S, ZHONG F, *et al.* Modulating storage stability of binary gel by adjusting the ratios of starch and kappa-carrageenan [J]. *Carbohydr Polym*, 2021, 268(15): 118264.
- [30] 唐小闲, 何思婷, 段振华, 等. 响应面优化仙草微波间歇-热风联合干燥工艺及其对仙草凝胶品质的影响[J/OL]. *食品工业科技*: 1-15 [2021-10-18]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021050288>
TANG XX, HE ST, DUAN ZH, *et al.* Response surface optimization of mesona microwave intermittent-hot air combined drying process and its

effect on mesona gel quality [J/OL]. *Sci Technol Food Ind*: 1-15 [2021-10-18]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021050288>

(责任编辑: 于梦娇 韩晓红)

作者简介



勾玲, 硕士, 讲师, 主要研究方向为功能食品研究与开发。

E-mail: 2209134053@qq.com



戴瑞, 硕士, 讲师, 主要研究方向为大宗农产品加工。

E-mail: 24389771@qq.com